

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-097784

(43)Date of publication of application : 09.04.1999

(51)Int.Cl.

H01S 3/133

(21)Application number : 09-255122

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 19.09.1997

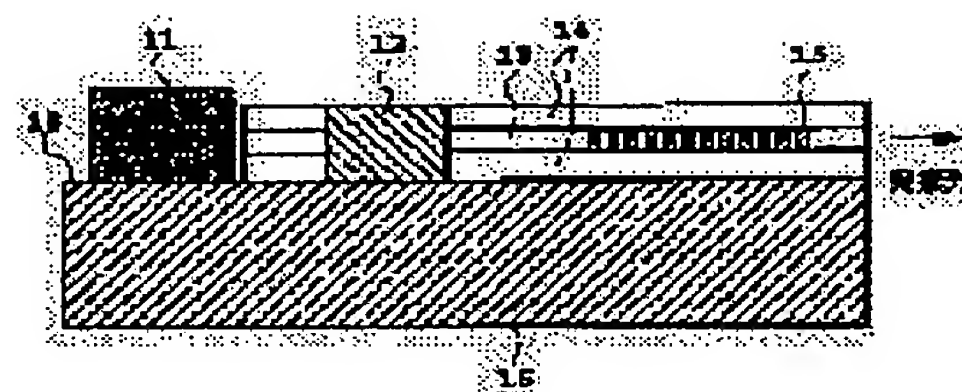
(72)Inventor : TANAKA TAKUYA
TAKAHASHI HIROSHI
KANEKO AKEMASA
HIMENO AKIRA
INOUE YASUYUKI

(54) FREQUENCY STABILIZED LASER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To stabilize the oscillation frequency of a laser by suppressing a mode hop due to temperature variation.

SOLUTION: The frequency stabilized laser comprises a semiconductor laser diode 11 and an optical waveguide mounted on a same substrate 16 wherein the optical waveguide comprises an integrated external resonator provided with a light induction grating. A material having a refractive index temperature coefficient of opposite in sign to that of the semiconductor laser diode 11 is mounted on the part of the optical waveguide between the semiconductor laser diode 11 and the light induction grating from where the upper clad and the core are removed or on the part from where the upper clad, the core and the lower clad are removed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

25.10.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

3337403

[Date of registration]

09.08.2002

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-97784

(43) 公開日 平成11年(1999) 4月9日

(51) Int. Cl.
H01S 3/133

識別記号 庁内整理番号

F I
H01S 3/133

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 7 〇 1 (全12頁)

(21) 出願番号 特願平9-255122

(22) 出願日 平成9年(1997) 9月19日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 田中 拓也

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 高橋 浩

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 金子 明正

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

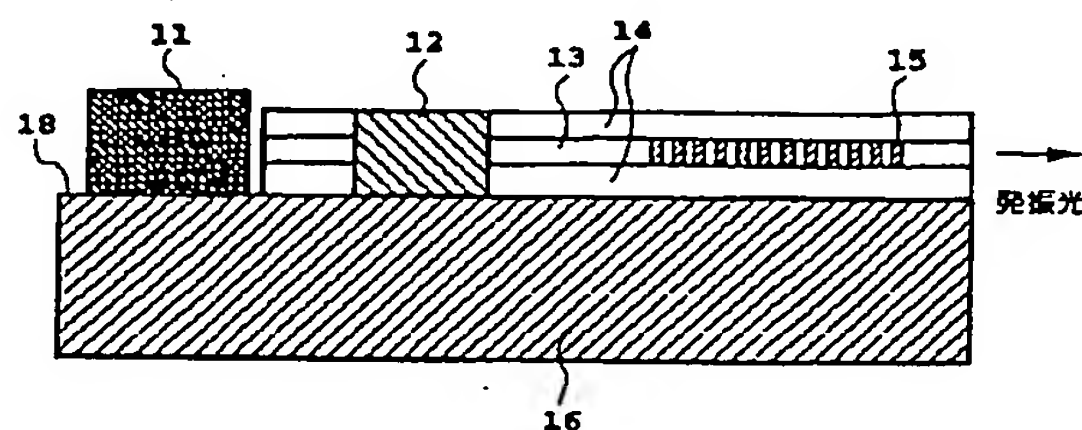
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 周波数安定化レーザ

(57) 【要約】

【課題】 温度変化に起因するモードホップを抑圧してレーザの発振周波数を安定化する。

【解決手段】 同一の基板上に搭載された半導体レーザダイオードと光導波路とを有し、光導波路に光誘起グレーティングが形成されている集積型外部共振器を用いた周波数安定化レーザである。半導体レーザダイオードの屈折率温度係数と逆符号の屈折率温度係数を有する材料が、半導体レーザダイオードと光誘起グレーティングの間の光導波路の上部クラッドとコアを除去した部分または上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した部分に搭載されている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板上に搭載された半導体レーザダイオードと、前記基板上に作製された光導波路と、該光導波路に形成された光誘起グレーティングからなる集積型外部共振器を用いた周波数安定化レーザにおいて、前記半導体レーザダイオードの屈折率温度係数と逆符号の屈折率温度係数を有する材料が、前記半導体レーザダイオードと前記光誘起グレーティングの間の光導波路の上部クラッドとコアを除去した部分または上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した部分に搭載されていることを特徴とする周波数安定化レーザ。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の周波数安定化レーザにおいて、前記光導波路が石英系ガラスで構成されたことを特徴とする周波数安定化レーザ。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 に記載の周波数安定化レーザにおいて、前記上部クラッドとコアを除去した部分または上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した部分が導波路を 80°～90°の角度で横切っていることを特徴とする周波数安定化レーザ。

【請求項 4】 請求項 2 に記載の周波数安定化レーザにおいて、前記上部クラッドとコアを除去した部分または上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した部分が導波路を 80°～87°の角度で横切っていることを特徴とする周波数安定化レーザ。

【請求項 5】 請求項 2 から 4 のいずれか 1 項に記載の周波数安定化レーザにおいて、前記上部クラッドとコアを除去した部分または上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した部分が複数本の溝から構成されることを特徴とする周波数安定化レーザ。

【請求項 6】 請求項 5 に記載の周波数安定化レーザにおいて、前記複数本の溝を連結する溝を有し、前記連結用の溝に液だめが連結されていることを特徴とする周波数安定化レーザ。

【請求項 7】 請求項 2 から 6 のいずれか 1 項に記載の周波数安定化レーザにおいて、前記半導体レーザダイオードの屈折率温度係数と逆符号の屈折率温度係数を有する材料の屈折率温度係数の絶対値が 1×10^{-4} (1/K) 以上であることを特徴とする周波数安定化レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光導波路中の光誘起グレーティングと半導体 LD (レーザダイオード) で構成される外部共振器型の周波数安定化レーザにおいて、モードホップが抑制された周波数安定化レーザの構造に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 石英系導波路中の光誘起グレーティングと半導体 LD で構成されるレーザは、グレーティングの

周波数選択性を利用して単一モード発振をする、温度係数が半導体レーザに比較して小さい、発振周波数の制御が容易である等の特徴を有するため、光通信、光情報処理、光計測、分光用光源として様々な応用が期待されている (T. Tanaka, et al., Electron. Lett., vol. 32, no. 13, 1202, (1996) および田中他 1997 年電子情報通信学会総合大会講演論文集、C-3-160)。なお、光誘起グレーティングの作製技術については、ケニス・オー・ヒル等により発明されている (特開平 7-140031 号公報)。以後、光誘起グレーティングを名称の簡略化のためグレーティングと言い換える。

【0003】 図 13 は従来の技術を用いて作製した周波数安定化レーザの模式的斜視図である。11 は半導体 LD であり、13 は石英導波路のコアであり、14 は石英導波路のクラッドである。15 はグレーティングであり、16 は Si 基板であり、18 は半導体 LD を搭載するために石英ガラスを取り除いた部分でシリコンテラスと呼ばれている。

【0004】 石英系導波路中のグレーティングと半導体 LD で構成される周波数安定化レーザの発振モードを以下に説明する。半導体 LD に注入電流を流し発光させると、グレーティングの反射スペクトルに対応した周波数の光のみがグレーティングで反射される。従って、半導体 LD の後端面からグレーティングまでの区間をレーザキャビティとして発振する。なお、グレーティングおよび半導体 LD の後端面以外からの半導体 LD への反射戻り光が無いように、半導体 LD の出力面には空気との界面に対する反射防止膜が施され、石英導波路の LD 側の端面はコアの近傍部がコアの光軸に直交する方向に対して傾いている (特開平 5-15523 号公報参照)。一般にグレーティングの反射周波数の帯域は 50 GHz 程度である。一方、レーザキャビティ長が 0.5 cm 程度であるので縦モードの周波数間隔は 20 GHz 程度となり、縦モードが 3 本程度存在し得る。従って、この中でグレーティングの反射中心周波数に最も近いものだけが選択されて発振する。なお、一般にグレーティングの反射率は 40%～99%、半導体 LD と石英系導波路との光の結合損失は 4 dB±1、5 dB 程度になっている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、従来の周波数安定化レーザでは、選択される縦モードの周波数が温度に依存するので、温度変化と共に発振するモードが変わる現象を生じる (以後モードホップと呼ぶ)。以下にその理由を説明する。従来の周波数安定化レーザの縦モードの温度係数は、近似的に式 (1) に示される。

【0006】

【数 1】

$$m = \frac{m_{LD} n_{LD} L_{LD} + m_{WG} n_{WG} L_{WG}}{n_{LD} L_{LD} + n_{WG} L_{WG}} \quad (1)$$

【0007】ただし、 m_{LD} および m_{WG} は、それぞれ半導体LDの共振器の共振周波数の温度係数および石英導波路で作製した共振器の共振周波数の温度係数である。 n_{LD} および n_{WG} は、それぞれ半導体LDの導波層の等価屈折率および石英導波路の等価屈折率である。 L_{LD} および L_{WG} は、それぞれ半導体LDの共振器長および半導体LDの出射端からグレーティングの中心までの石英導波路長を表す。グレーティングは、石英導波路中に書き込まれており、反射中心周波数の温度係数は、石英導波路の温度係数 m_{WG} に等しい。 $m_{LD} \approx 10 m_{WG}$ なので、縦モードの温度係数 m の大きさは、グレーティングの反射中心周波数の温度係数 m_{WG} の大きさよりも大きい。

【0008】すなわち、縦モードの温度係数とグレーティングの反射中心周波数の温度係数は等しくない。

【0009】図14にモードホップの説明図を示す。N番目の縦モードで発振していたとすると、温度変化によりグレーティングの反射中心周波数に最も近い縦モードがN+1番目に移り、モードホップが生じる。文献T. Tanaka, et. al., Electron. Lett., vol. 32, no. 13, 1202, (1996) の例では温度変化により5℃おきにモードホップが生じていた。モードホップは伝送信号の誤り確率を上昇させるため、抑制方法の実現が望まれていた。

【0010】本発明はこのような問題点を解決するためになされたものであり、本発明の目的は、グレーティングの反射中心周波数の温度係数と縦モードの温度係数を一致させることにより、温度変化に起因するモードホップが抑圧された周波数安定化レーザを提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】上述した目的を達成するために、本発明による周波数安定化レーザは、基板上に搭載された半導体レーザダイオードと、前記基板上に作製された光導波路と、該光導波路に形成された光誘起グレーティングからなる集積型外部共振器を用いた周波数安定化レーザにおいて、前記半導体レーザダイオードの屈折率温度係数と逆符号の屈折率温度係数を有する材料が、前記半導体レーザダイオードと前記光誘起グレーティングの間の光導波路の上部クラッドとコアを除去した部分または上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した部分に搭載されていることを特徴とする。

【0012】ここで、好ましくは前記光導波路が石英系ガラスで構成される。前記上部クラッドとコアを除去した部分または上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した部分が導波路を好ましくは80～90度、さらに好ましくは80～87度の角度で横切っている。

【0013】さらに、好ましくは、前記上部クラッドとコアを除去した部分または上部クラッドとコアと下部ク

ラッドを除去した部分が複数本の溝から構成される。前記複数本の溝を連結する溝を有し、前記連結用の溝に液だめが連結されていることも好ましいことである。

【0014】好ましくは、前記半導体レーザダイオードの屈折率温度係数と逆符号の屈折率温度係数を有する材料の屈折率温度係数の絶対値が 1×10^{-4} (1/K) 以上である。

【0015】

【発明の実施の形態】本発明による周波数安定化レーザは、基板上に搭載された半導体レーザダイオードと、同じ基板上に作製された光導波路と、光導波路に形成された光誘起グレーティングを備え、半導体レーザダイオードの屈折率温度係数と逆符号の屈折率温度係数を有する材料が、半導体レーザダイオードと光誘起グレーティングの間の光導波路の上部クラッドとコアを除去した部分または上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した部分に搭載されている。

【0016】本発明の上述した構成によってモードホップを抑制できる。すなわち、屈折率温度係数が半導体LDの屈折率温度係数と逆の材料をグレーティングと半導体LDの間に搭載することで、周波数安定化レーザのレーザキャビティ中において温度変化による半導体LDの光路長変化を打ち消すことができ、その結果レーザキャビティの共振周波数の温度係数を小さくすることができる。従って、屈折率温度係数が半導体LDの屈折率温度係数と逆の材料を搭載する領域の大きさを適切に設計することにより、縦モードの温度係数をグレーティングの反射中心周波数の温度係数に一致させることができる。

【0017】以後、屈折率温度係数が半導体LDの屈折率温度係数と逆の材料を温度係数調整材料と記載する。

【0018】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。

【0019】なお、実施例を説明するための全図において、同一機能を有するものは同一符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

【0020】(実施例1) 実施例1は、光導波路が石英系ガラスで構成された周波数安定化レーザを例に挙げて説明する。

【0021】図1、図2に本発明の第1の実施例を示す。図1は、レーザの断面図であり、図2は、レーザの上面図である。11は半導体LD、12は石英導波路と直角方向に設けた溝中に搭載した温度係数調整材料、13は石英導波路のコア、14は石英導波路のクラッド、15はグレーティング、16はSi基板、18はシリコンテラスである。

【0022】半導体LDの波長は1.55μmである。

従って周波数安定化レーザのおおよその光の周波数は式 (2) で表される。

$$\nu = 193 \text{ (THz)}$$

図 1、図 2 に示した周波数安定化レーザの縦モードの温度係数 m は近似的に式 (3) で表される。

$$m = \frac{m_{LD} n_{LD} L_{LD} + m_{WG} n_{WG} L_{WG} + m_m n_m L_m}{n_{LD} L_{LD} + n_{WG} L_{WG} + n_m L_m} \quad (3)$$

【0025】ただし、 m_{LD} 、 m_{WG} 、 m_m は、それぞれ半導体 LD の共振器の共振周波数の温度係数、石英導波路部分を共振器とした場合の共振周波数の温度係数、温度係数調整材料の共振周波数の温度係数である。 n_{LD} 、 n_{WG} 、 n_m は、それぞれ半導体 LD の導波層の等価屈折率、半導体 LD とグレーティングの間の石英導波路の等価屈折率、温度係数調整材料の屈折率である。 L_{LD} 、 L_{WG} 、 L_m は、それぞれ半導体 LD の共振器長、温度係数調整材料が搭載された部分の長さ、半導体 LD の出射端

【0023】
【数 2】

(2)

【0024】
【数 3】

からグレーティング中心までの石英導波路部分の長さ (温度係数調整材料が封入された領域を除く) を表す。モードホップの温度間隔 T は、縦モードの周波数間隔を縦モードの温度係数 m とグレーティングの温度係数、すなわち石英導波路の温度係数 m_{WG} の差で割ることにより式 (4) で得られる。

【0026】
【数 4】

$$T = \left| \frac{c}{2 (n_{LD} L_{LD} + n_{WG} L_{WG} + n_m L_m)} \times \frac{1}{m_{WG} - m} \right| \quad (4)$$

【0027】ただし、 c は光の速さを表し、 $c = 3.0 \times 10^8$ (m/s) である。

【0028】本実施例 1 において、温度係数調整材料が封入された領域を除く石英導波路部分の共振周波数の温度係数 m_{WG} の具体的な数値を得るための計算を記す。ここで、グレーティングが形成されている領域も形成され

$$\frac{d\nu}{dT} = -\nu \left(\frac{1}{n} \frac{dn}{dT} + \alpha \right)$$

【0031】屈折率の温度係数は、材料は石英であるので式 (6) で表される。

$$\frac{dn}{dT} = 7.0 \times 10^{-6} \text{ (1/K)}$$

【0033】石英導波路部分の線膨張係数を求める。図 1 のレーザでは、コア 13、クラッド 14 の石英部分の厚みが合わせて $60 \mu\text{m}$ 程度であるのに対して、Si 基板 16 の厚みは 1mm 程度と十分大きい。従って、石英

$$\alpha = \alpha_{WG} = 2.33 \times 10^{-6} \text{ (1/K)}$$

従って、半導体 LD 端からグレーティングまでの石英導波路部分の温度係数 m_{WG} は、石英導波路の等価屈折率 $n = n_{WG} = 1.45$ および、式 (2)、式 (6)、式 (7) を式 (5) へ代入することで、式 (8) で得られ

$$m_{WG} = \frac{d\nu}{dT} = -1.4 \text{ (GHz/K)} \quad (8)$$

【0036】同様の計算手順で温度調整材料の温度係数を求める。

【0037】温度係数調整材料には、シリコン樹脂を用いている。シリコン樹脂の屈折率 n_s は 1.39 、

$$\frac{dn}{dT} = -3.9 \times 10^{-4} \text{ (1/K)}$$

ていない領域も温度係数の値は同じである。

【0029】一般に、屈折率 n 、線膨張係数 α の材料で作製した共振器の共振周波数の温度係数は、光弾性効果を見捨ると式 (5) で表されることが知られている。

【0030】
【数 5】

(5)

【0032】
【数 6】

(6)

導波路部分の線膨張係数 α_{WG} は Si 基板の線膨張係数で表される (式 (7))。

【0034】
【数 7】

(7)

る。

【0035】
【数 8】

屈折率の温度係数は、式 (9) で表される。

【0038】
【数 9】

(9)

【0039】温度係数調整材料は、石英導波路の上部クラッドとコアまたは上部クラッドとコアと下部クラッドを除去することで作製した深さ $30\mu\text{m} \sim 60\mu\text{m}$ の溝中に封入されており、温度係数調整材料の厚みは Si 基板の厚み 1mm に比較して小さい。溝の作製方法について

$$\alpha = \alpha_s = 2.33 \times 10^{-6} \quad (1/K)$$

式 (2)、(9)、(10) と $n = n_s = 1.39$ を式 (5) に代入することにより温度係数調整材料搭載部分の共振周波数の温度係数 m_s は式 (11) で表される。

$$m_s = 54 \quad (\text{GHz/K})$$

また、半導体 LD の長さ L_{LD} は 0.60mm 、半導体 LD の導波層の等価屈折率 n_{LD} は 3.5、石英導波路の等価屈折率 n_s は 1.45 である。LD 出射端面からグレーティングの手前までの長さは 1.5mm であり、グレーティングの長さは 3.0mm である。従って、半導体 LD 端からグレーティング中心までの石英導波路部分の長さ (但し、温度係数調整材料が封入された領域を除く) L_{sc} は、 $(3.0 - L_{LD})\text{mm}$ である。また、半導体 LD の温度係数は $m_{LD} = -12.9 \quad (\text{GHz/K})$ である。そこで第 1 実施例の設計においては、式 (4) に

20 において上記のパラメータと式 (3)、式 (8)、式 (11) に基づき、モードホップ温度間隔 $T = 140^\circ\text{C}$ となるように温度補償材料封入領域の全長 L_s を 0.30mm と設計した。

【0042】図 1、図 2 の周波数安定化レーザを上記のパラメータに従って設計し、作製を行った。作製工程を図 3 に示す。作製工程は、以下の 8 工程からなる。

(1) エッチングにより段差のある Si 基板 16 を作る。(2) 光ファイバの作製技術を応用した火炎堆積法と LSI の作製に用いられるフォトリソグラフィ技術を用いて石英導波路を Si 基板上に形成する。13 は石英導波路のコア、14 は石英導波路のクラッドを示す。

(3) フォトリソグラフィおよび反応性イオンエッチングを用い、石英層を一部エッチングして半導体レーザ搭載部 18 (Si テラス) を作製する。(4) Si テラス上に半導体レーザ搭載用の半田パターン 19 を形成する。(5) エキシマレーザ光 (あるいはアルゴンレーザの第 2 高調波) 31 をフェイズマスク 30 を通して導波路に照射することにより、グレーティング 15 を作製する。(6) 溝 21 をダイシングソーで加工し、幅 $300\mu\text{m}$ の溝を 1 本作製する。(7) 半導体レーザ 11 を位置合わせした後、固定する。(8) 溝にシリコン樹脂を充填し、加熱してシリコン樹脂を硬化させる。

【0043】図 4 は本実施例 1 の周波数安定化レーザの発振周波数の温度依存性の測定結果を表している。測定の結果、モードホップの抑制が -15°C から 65°C までの範囲で確認できた。また発振のためのしきい値電流は 150mA であった。

【0044】(実施例 2) 図 5 に実施例 2 の周波数安定化レーザの上面図を示す。実施例 1 との相違点は、実施

ては後で述べる作製工程の中で説明する。従って、温度係数調整材料搭載領域の線膨張係数 α_s は Si 基板の線膨張係数となり、式 (10) で表される。

【0040】

【数 10】

(10)

【0041】

【数 11】

(11)

例 2 においては溝と石英導波路がなす角度が 82° である点である。その他の構成および作製工程は実施例 1 の周波数安定化レーザと同様である。

【0045】溝と石英導波路がなす角度を 82° にした理由を以下に記載する。石英導波路との屈折率差が大きな温度係数調整用材料を用いる場合は、屈折率差が大きいため、石英導波路と温度係数調整用材料の界面で光の反射が大きくなる。大量の反射光が半導体 LD に戻った場合、周波数安定化レーザの発振が不安定になる。従って、温度係数調整用材料の種類によっては、温度変化に対するモードホップの抑制を困難にする場合が生じる。ところが、溝と石英導波路がなす角度を 82° にすれば、反射光は導波路のコアからクラッドに抜けることで LD に戻らず、周波数安定化レーザの発振は安定になる。すなわち、周波数安定化レーザのモードホップの抑制に石英導波路との屈折率差が大きな温度係数調整用材料も用いることができるようになる。

【0046】図 6 は本実施例 2 の周波数安定化レーザの発振周波数の温度依存性の測定結果を表している。モードホップの抑制が実施例 1 と同様に -15°C から 60°C まで確認できた。しきい値電流は 150mA であった。

【0047】(実施例 3) 図 7 および図 8 に実施例 3 の周波数安定化レーザの断面図および上面図を示す。実施例 2 との相違点は実施例 3 においては溝が複数本あり、それぞれに温度係数調整用材料 12 が搭載されていることである。要するに、 $300\mu\text{m}$ の溝を複数本の狭い溝に分割していることを特徴としている。具体的には、溝をダイシングソーで加工する際に細溝加工用のブレードを用い、幅 $25\mu\text{m}$ の溝を 12 本作製している。その他の構成および作製工程は実施例 2 の周波数安定化レーザと同様である。測定の結果モードホップの抑制が -15°C から 65°C まで確認され、しきい値電流は、実施例 2 に比較して 1 桁以上低い 10mA が得られた。

【0048】以下、狭い複数個の溝を作製して低しきい値電流が得られた理由を記載する。

【0049】導波路中に上部クラッドとコアを除去した部分または上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した部分、すなわち、溝を作製し、導波路構成材料と別の材料をこの溝に搭載すると導波路を透過する光の導波モードが変化する。従って溝がない場合に比較して透過損

失が生じる。特に、溝の導波路方向の全長が長くなるほど損失が急速に増加する。従って、一つの太い溝に一括して温度係数調整材料を搭載する場合に比較して、複数個の細い溝に分けて温度係数調整材料を搭載する場合の方が透過光のロスが少なくなる。よって前者に比較して後者の手段を用いた方がレーザキャビティ中の損失を減少させ、周波数安定化レーザのしきい値電流を減少させている。

【0050】（実施例4）図9に実施例4の周波数安定化レーザの上面図を示す。実施例3の構成との違いは、複数本の溝を連結する溝41を有し、連結用の溝41に液だめ42が連結されていることを特徴としている。そのため作製工程における実施例3との相違点は、実施例3ではダイシングソーで溝加工を行っていたのに対して、本実施例4においてはフォトリソグラフィおよび反応性イオンエッチングによって溝加工を行うことで、連結用の溝と液だめを複数本の溝と同時に一括して作製している点である。

【0051】反応性イオンエッチングによる溝加工の利点は溝の設計の自由度が大きくなる点である。また、反応性イオンエッチングの利点はダイシングソーに比較して幅の狭い溝を作製できる点である。ダイシングソーを用いた溝加工では $22 \sim 25 \mu\text{m}$ の幅が限界であるが、反応性イオンエッチングを用いた場合、再現性よく加工できる溝の最小幅は $15 \mu\text{m}$ まで可能である。実施例3でも記載したが、幅の合計の長さが同じ溝に温度係数調整材料を搭載する場合、より細い溝に分割して温度係数調整材料を搭載する場合の方が透過損失を低減することができる。例えば合計の幅が $300 \mu\text{m}$ の溝を作製する場合、 $25 \mu\text{m}$ の溝を12本作製するよりも $15 \mu\text{m}$ の溝を20本作製するほうが損失が少ない。従って、反応性イオンエッチングを用いて溝を作製することにより、ダイシングソーで溝加工を行った場合に比較して、周波数安定化レーザのレーザキャビティ中の損失を低下させ、しきい値電流を低減させる。

【0052】作製工程において、Siテラスの作製と同時に溝のパターンを作製している。全体の作製工程を図10に示す。(1)、(2)の工程は図3の工程と同じである。(3)のSiテラスおよび溝の作製工程において、Siテラス18を作製するためのフォトマスクに $15 \mu\text{m}$ の溝を20本作製する設計および連結用の溝と液だめを作製する設計を加え、Siテラスの作製と同時に、 $15 \mu\text{m}$ の溝を20本、連結用の溝および液だめを作製している。この方法を用いることによりダイシングソーで溝加工を行った場合に比較して、溝加工の工程が無い分、作製の効率を上昇させることができる。(4)以降の工程は図3と同様である。

【0053】注入したシリコン樹脂は液体であるので、液だめ42に注入することにより一括して各溝に適量のシリコン樹脂を注入することができる。この液だ

めは、溝への注入時に液体である材料であればすべての温度係数調整材料に適用できる。実施例3では、液だめがないので、シリコン樹脂を充填する際、樹脂が溢れ出す場合が生じ、注入量の調整が難しかった。これに比較して実施例4では、液だめを用いて、一括して適量を充填できるので充填の工程の効率化が図れる。

【0054】作製した周波数安定化レーザの発振周波数の温度依存性を測定した結果、実施例3と同様に実施例4においてもモードホップの抑制が -15 度から $+65$ 度の範囲で確認できた。しきい値電流は 8.0 mA であり、実施例3に比較してさらにしきい値電流の低減が確認された。反応性イオンエッチングを用いて溝を細かく分割したことによる効果である。

【0055】実施例1、実施例2、実施例3、実施例4において、温度係数調整材料にはシリコン樹脂を用いたが、本発明はこれに限定されることはなく、屈折率温度係数 dn/dT の符号が半導体LDの屈折率温度係数と反対であれば良く、その大きさ（絶対値）は 1×10^{-4} 以上のものが好ましい。そのような材料として、低分子材料、高分子材料、低分子材料を架橋により高分子化した材料、高分子と低分子の混合系などがある、低分子材料は、ほとんどの有機材料の屈折率温度係数の大きさが条件を満たしており、本発明の周波数安定化レーザに適用できる。例えば、ベンゼン、トルエン等の芳香族化合物、シクロヘキサン等の環状炭化水素化合物、イソオクタン、 n -ヘキサン、 n -オクタン、 n -デカン、 n -ヘキサデカン等の直鎖炭化水素化合物、四塩化炭素等の塩化物、2硫化炭素等の硫化物、メチルエチルケトン等のケトン類などである。また、高分子材料もほとんどが dn/dT の絶対値が 1×10^{-4} 以上であるため、適用できる。例えば、ポリシロキサンまたはポリシロキサンの架橋物がある。また、例えば、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリブチレン等のポリオレフィン、ポリブタジエン、天然ゴム等のポリジエン、ポリスチレン、ポリ酢酸ビニル、ポリメチルビニルエーテル、ポリアクリル酸、ポリアクリル酸メチル、ポリメタクリル酸、ポリメタクリル酸メチル、ポリメタクリル酸ブチル、ポリメタクリル酸ヘキシル、ポリメタクリル酸ドデシル等のビニル重合体、直鎖オレフィン系のポリエーテルや、ポリフェニレンオキシド（PPO）、およびその共重合体やブレンド体、エーテル基とスルホン酸基を混在させたポリエーテルスルホン（PES）、エーテル基とカルボニル基を混在させたポリエーテルケトン基（PEK）、チオエーテル基を持つポリフェニレンスルフィド（PPS）やポリスルホン（PSO）等のポリエーテル、およびその共重合体やブレンド体、またはポリオレフィンの末端にOH基、チオール基、カルボニル基、ハロゲン基などの置換基を少なくとも一つ有するもの、例えばH-O-（C-C-C-C-）、-（C-C-C-C-）、-OHなど、ポリエチレンオキシド、ポリプロピレンオ

キシド等のポリオキシドやポリブチルイソシアナート、ポリフッ化ビニリデンが挙げられる。さらには、エポキシ樹脂等の低分子、オリゴマ物と硬化剤による架橋物がある。実際にはこれらの材料を単独または屈折率温度係数を合わせるため2種以上を混合し、使用する。なお、上記の材料を温度係数調整材料として用いる場合、温度係数調整材料の屈折率および屈折率温度係数の値を用いて、実施例1に記載した方法で材料を搭載する部分の長さ L_1 を設計する。

【0056】本発明の実施例2、実施例3および実施例4において溝と導波路のなす角度を82度とすることで反射戻り光を低減したが、その角度が80度～87度の間であれば効果は同じである。

【0057】実施例1および実施例2においては300 μm の溝を1本作製し、実施例3においては合計の長さが300 μm の溝を作製するために幅25 μm の溝を12本作製し、実施例4においては幅15 μm の溝を20本作製したが、溝の間隔と本数の設計はこれに限定されることはなく、幅15～50 μm の溝を複数本作製し、合計の長さが作製誤差も含めて300 $\mu\text{m} \pm 50\mu\text{m}$ となるようにすれば、実施例1、実施例2、実施例3および実施例4の結果と同様にモードホップ抑制の効果が得られる。

【0058】実施例1から実施例4までにおいては単体の周波数安定化レーザを説明したが、本発明の効果は単体の周波数安定化レーザに限定されることはない。周波数安定化レーザを同一基板上に複数個集積した構成のレーザにも本発明の構成は効果がある。以下に詳しく具体例を記載する。

【0059】(1) 周波数安定化レーザを複数個集積することで作製したレーザアレイにおいても本発明の構成は有効である。図11は本発明の周波数安定化レーザを8個集積したレーザアレイの模式的上面図である。この例では、分割された複数の溝が、各周波数安定化レーザの導波路を横切る角度を82度としている。このような構造は、実施例4と同様に、フォトリソグラフィと反応性イオンエッチングによって作製できる。レーザアレイの出力数は8に限定されるものでなく複数であればよい。

【0060】(2) また、上述の複数の周波数安定化レーザを集積したレーザアレイ構成において、グレーティング15の各々の反射中心周波数（または波長）を制御し、アレー格子型1×N波長合分波器または1×Nカプラを集積した多波長レーザ（波長 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ ）に対しても、本発明は有効である。図12は本発明の周波数安定化レーザを集積した多波長レーザの模式的上面図である。20は、アレー格子型1×N波長合分波器または1×Nカプラを示す。この例では、連結用の溝および液だめをそれぞれ2つ設け、分割された複数の溝が、各周波数安定化レーザの導波路を横切る角度を82度とし

ている。ここで、多波長レーザの波長多重数として8の場合を例示しているが、これに限定されるものでなく、複数であればよい。なお、周波数を決定すると同時に波長が決定されるので、周波数および波長の安定化ないし制御は同じ意味で用いることができる。要するに、周波数安定化レーザと波長安定化レーザとは同義で用いることができる。

【0061】(3) また、上記アレー格子型1×N波長合分波器または1×Nカプラを集積した多波長レーザの構成において、特願平9-47460号に提案されているような、反射中心波長が異なるグレーティングを一括して作製するために、グレーティングが形成されている部分の導波路のコア幅が導波路ごとに異なり、またはグレーティングが形成されている部分の導波路の光軸とグレーティングベクトルがなす角が導波路ごとに異なることを特徴とする多波長レーザにおいても、本発明の構成は有効である。

【0062】(4) さらに、上記複数の周波数安定化レーザを集積したレーザアレイ、またはアレー格子型1×N波長合分波器または1×Nカプラを集積した多波長レーザの構成において、合波した出力光を増幅するために半導体光増幅器が集積されていることを特徴とする多波長レーザにおいても、本発明の構成は有効である。

【0063】(5) また、上記複数の周波数安定化レーザを集積したレーザアレイ、またはアレー格子型1×N波長合分波器または1×Nカプラを集積した多波長レーザ、またはさらに半導体光増幅器が集積されている構成において、各波長出力を高速に変調するため半導体LDにEA変調器が集積されていることを特徴とする多波長レーザにおいても、本発明の構成は有効である。

【0064】(6) また、上記複数の周波数安定化レーザを集積したレーザアレイ、またはアレー格子型1×N波長合分波器または1×Nカプラを集積した多波長レーザ、またはさらに半導体光増幅器が集積されている構成において、各波長出力を高速に変調するためLiNbO₃変調器が集積されていることを特徴とする多波長レーザにおいても、本発明の構成は有効である。

【0065】実施例1から実施例4では、基板上に搭載する半導体LDを発振波長1.55 μm の半導体LDとしたが、一般的には他の発振波長の半導体LDを用いても、光導波路のサイズや、温度係数調整材料の搭載領域の全長を適切に設計することでモードホップの抑制が可能であることは言うまでもない。

【0066】半導体LDを搭載したデバイスを実現化するにあたり、LDを樹脂で封止することにより、半導体LDを湿気にさらさないようにすることで、長期的信頼性を確保することが一般的に行われている。実施例1から実施例4で述べた温度係数調整材料が樹脂封止材料を兼ねる材料である場合、温度係数調整材料を搭載するための溝から半導体LDまでを覆う全領域にこの温度係

調整材料を一括して搭載することにより、モードホップの抑制と半導体LDの信頼性確保が同時に可能になることは言うまでもない。ただし、この場合、温度係数調整材料は半導体LDと石英導波路の間の僅かな隙間にも搭載されているので、半導体LDの前端面の反射防止膜は温度係数調整材料の屈折率に対して設計されていることが必要である。このような構成において、温度係数調整材料の屈折率が石英導波路の屈折率 $n = 1.45$ に等しい場合、石英導波路の半導体LD側の端面と温度係数調整材料との間で光の反射が生じない。従って、石英導波路の半導体LD側の端面はコアの近傍部がコアの光軸に対して直交していてもよい。

【0067】

【発明の効果】以上説明したように、本発明では、溝、すなわち上部クラッドとコアを除去した部分または上部クラッドとコアと下部クラッドを除去した部分に温度係数調整材料を封入するという簡便な方法を用いることにより、縦モードの温度係数とグレーティングの反射中心波長の温度係数を一致させ、従来問題となっていたモードホップを容易に抑制することができる。従って本発明を用いれば低コストで、温度依存性が小さく安定した単一モードレーザの実現が可能となり、光通信等レーザを用いる分野において多大な効果が期待される。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例の構造を示す模式的断面図である。

【図2】本発明の第1実施例の構造を示す模式的上面図である。

【図3】第1実施例の波長安定化レーザの作製工程を説明する模式図である。

【図4】本発明の第1実施例における発振周波数の温度依存性の測定結果を示す図である。

【図5】本発明の第2実施例の構造を示す模式的上面図である。

【図6】本発明の第2実施例における発振周波数の温度

依存性の測定結果を示す図である。

【図7】本発明の第3実施例の構造を示す模式的断面図である。

【図8】本発明の第3実施例の構造を示す模式的上面図である。

【図9】本発明の第4実施例の構造を示す模式的上面図である。

【図10】本発明の第4実施例の周波数安定化レーザの作製工程を示す模式図である。

10 【図11】本発明の実施例を集積して作製したレーザアレイを示す模式的上面図である。

【図12】本発明の実施例を集積して作製した多波長レーザを示す模式的上面図である。

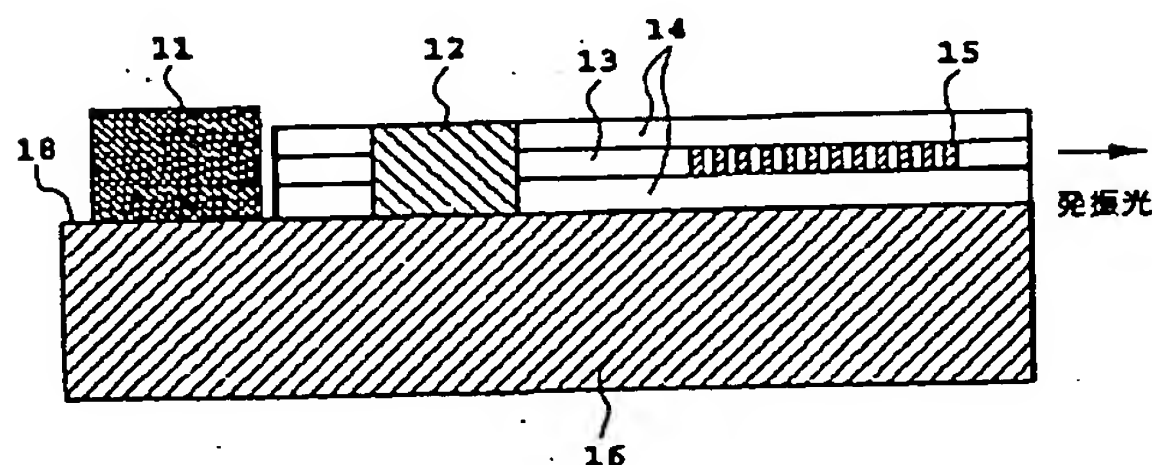
【図13】従来のグレーティングを用いた周波数安定化レーザの模式的斜視図である。

【図14】従来のグレーティングを用いた周波数安定化レーザにおいて温度変化によるモードホップを説明する図である。

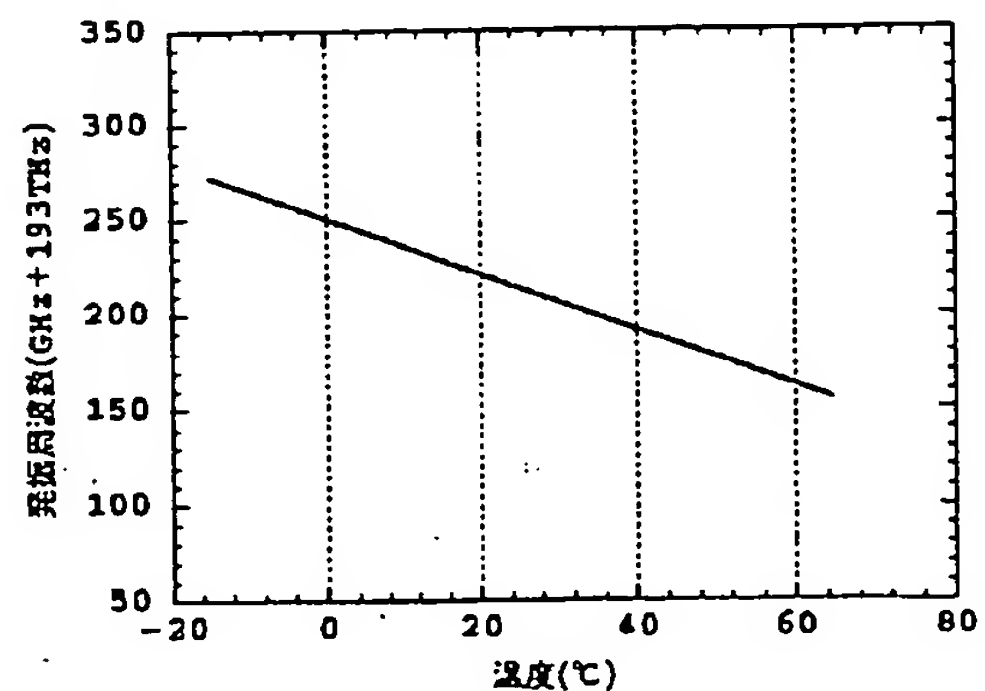
【符号の説明】

- 11 半導体LD
- 12 温度係数調整材料（シリコン樹脂）
- 13 石英導波路のコア層
- 14 石英導波路のクラッド層
- 15 グレーティング
- 16 Si基板
- 18 シリコンテラス
- 19 半導体レーザ搭載用の半田パターン
- 20 アレー格子型1×N波長合分波器あるいは1×Nカプラ
- 30 フェイズマスク
- 31 エキシマレーザ光あるいはアルゴンレーザの第2高調波
- 41 連結用溝
- 42 液だめ

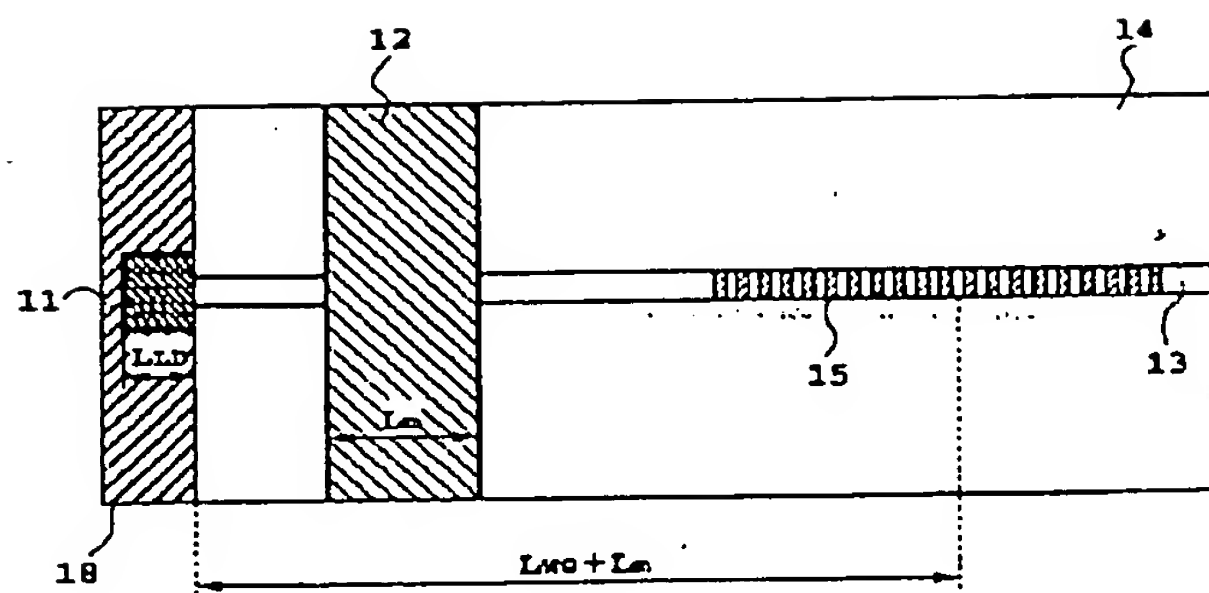
【図1】



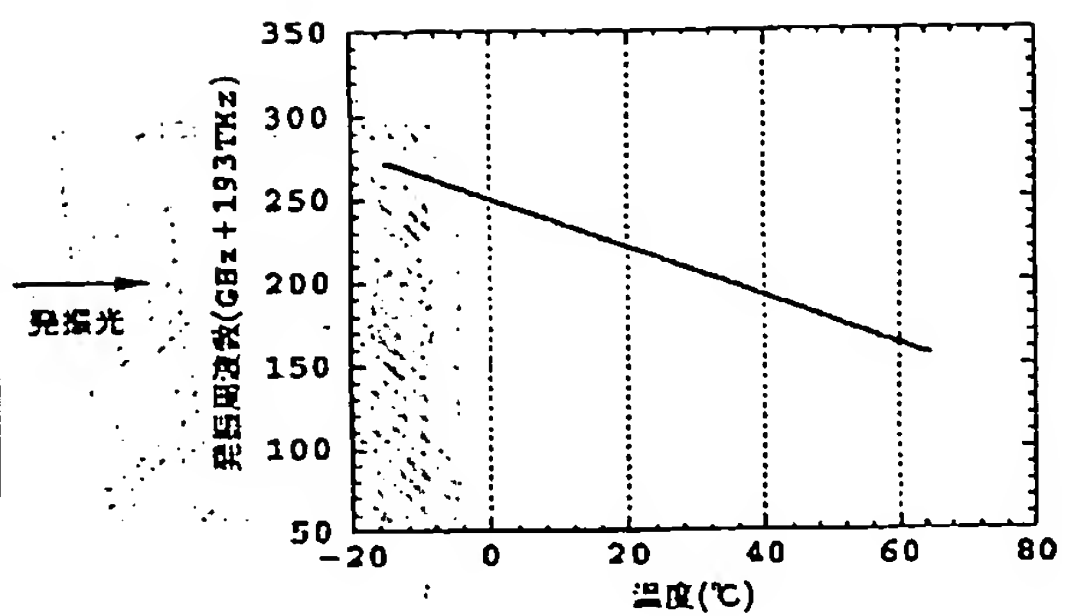
【図4】



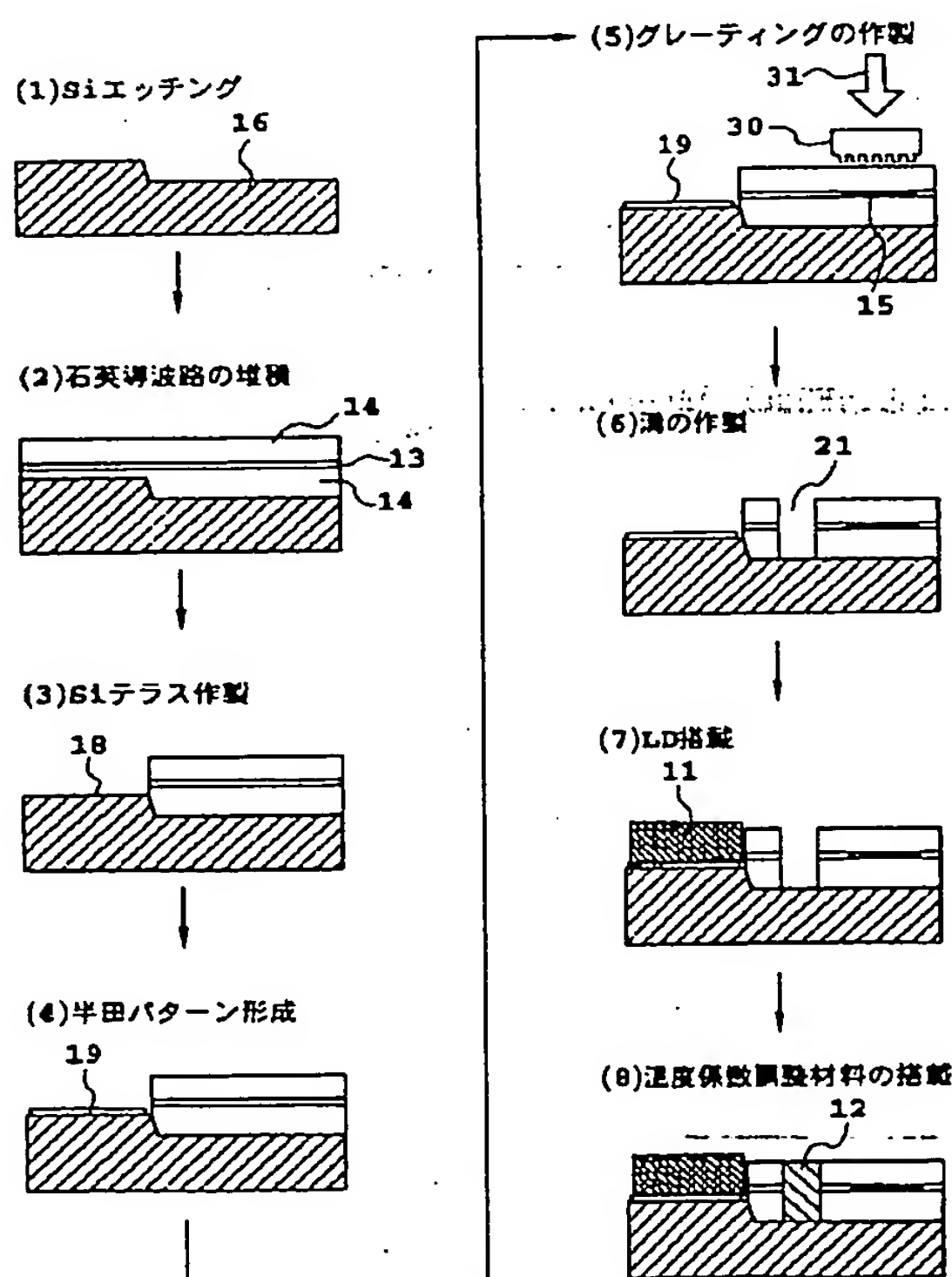
【圖 2】



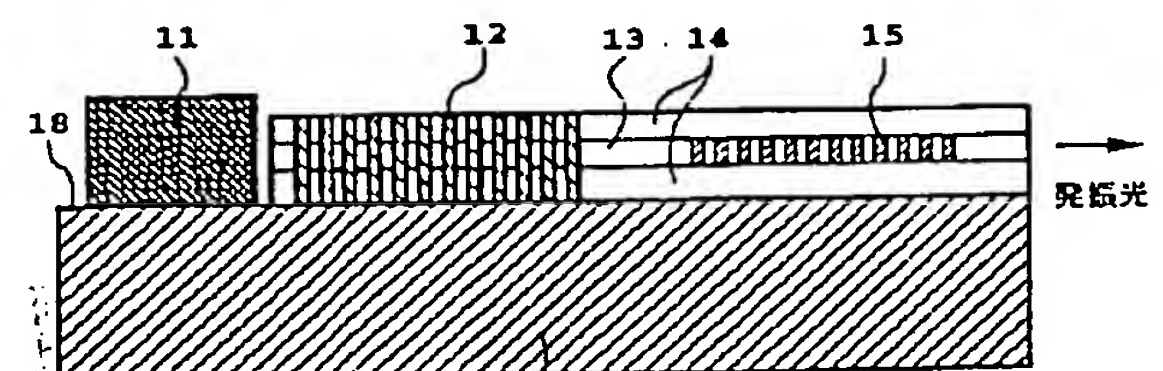
【図 6】



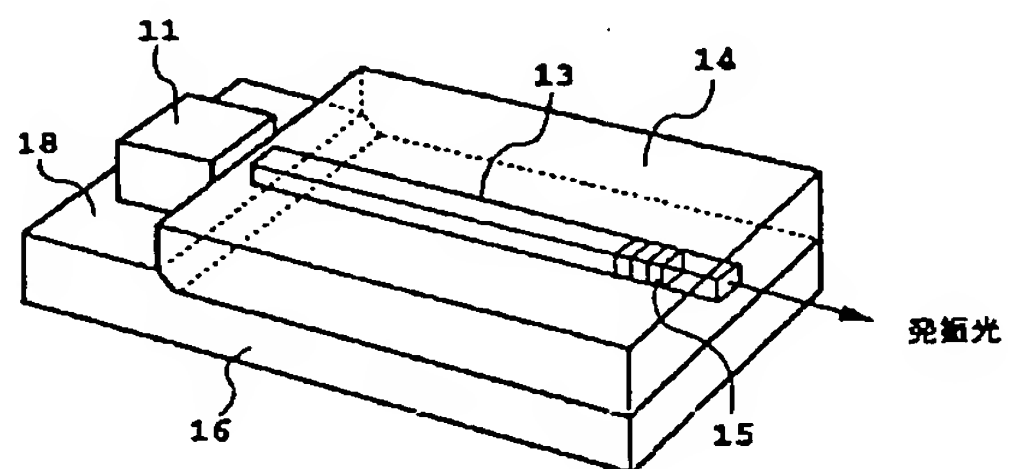
【图 3】



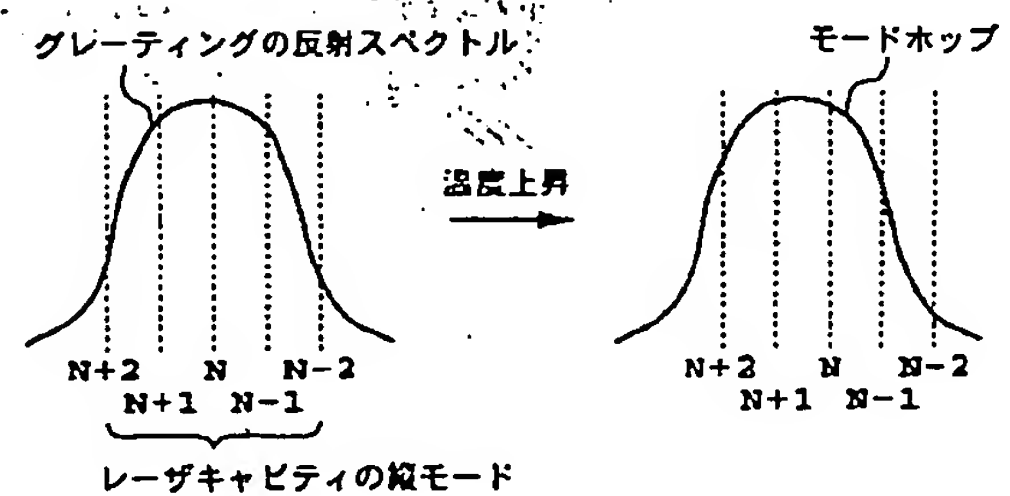
【图 7】



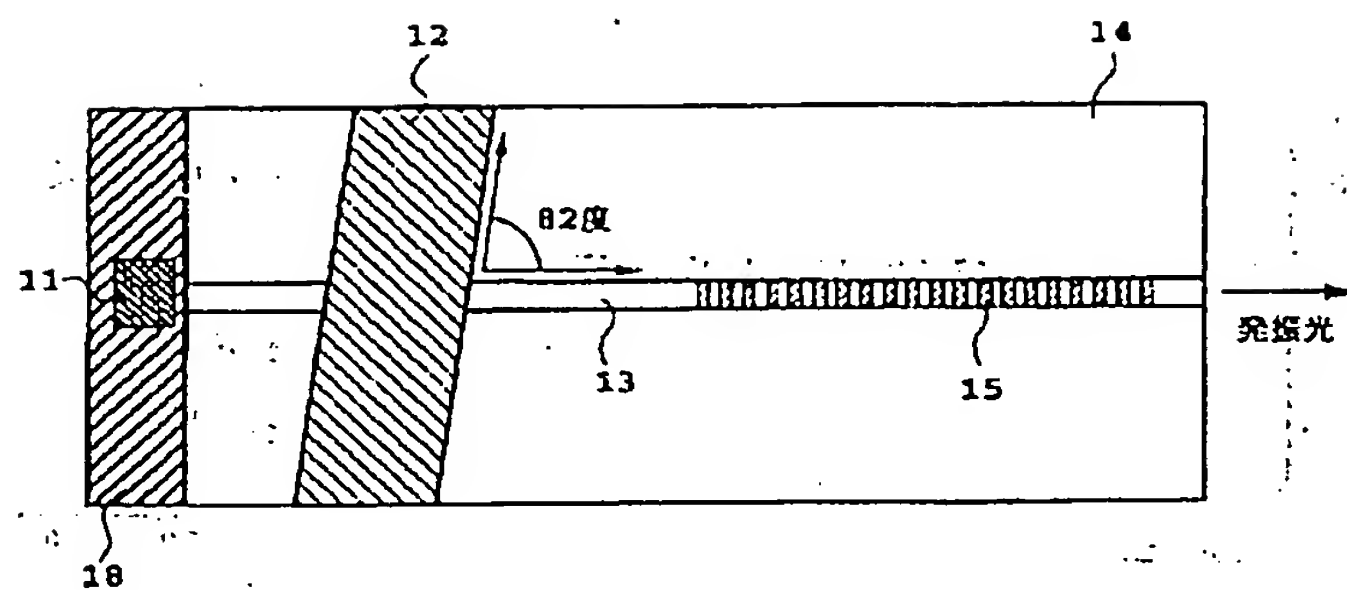
【图 1-3】



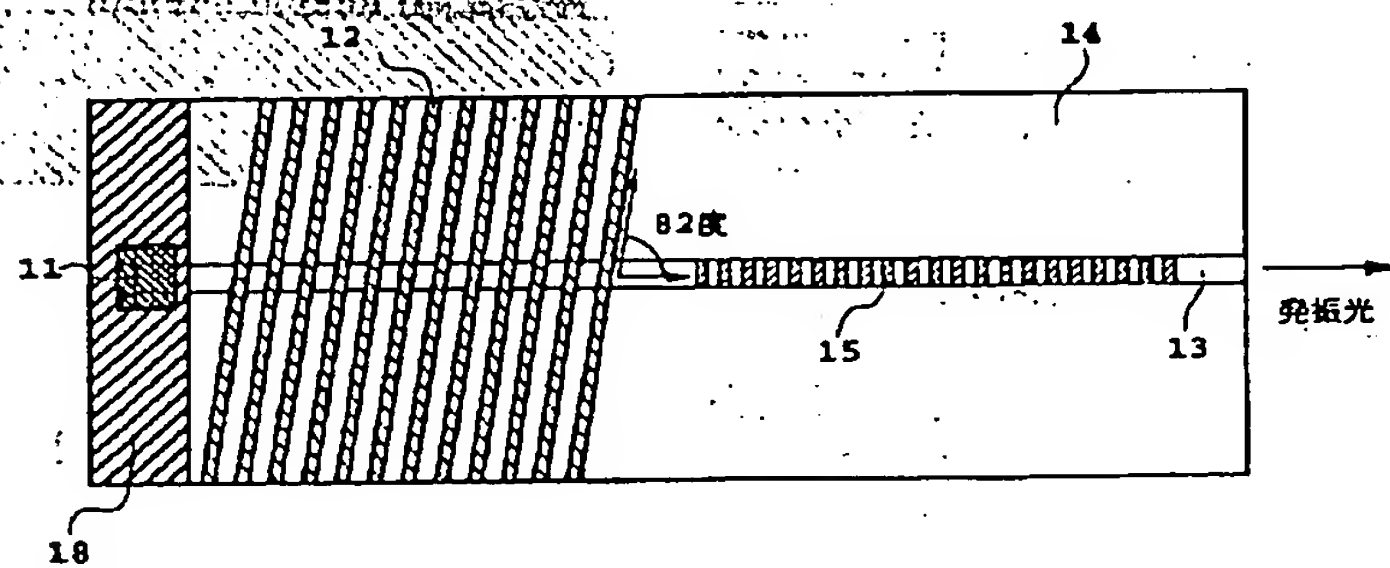
【图 14】



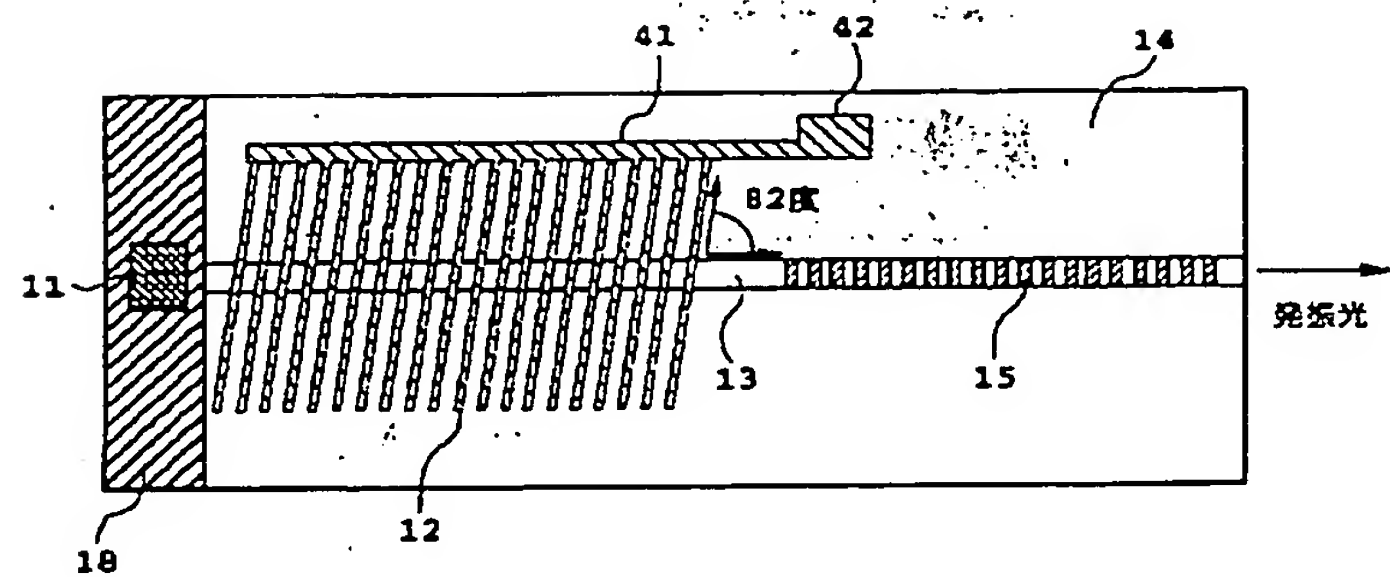
【図 5】



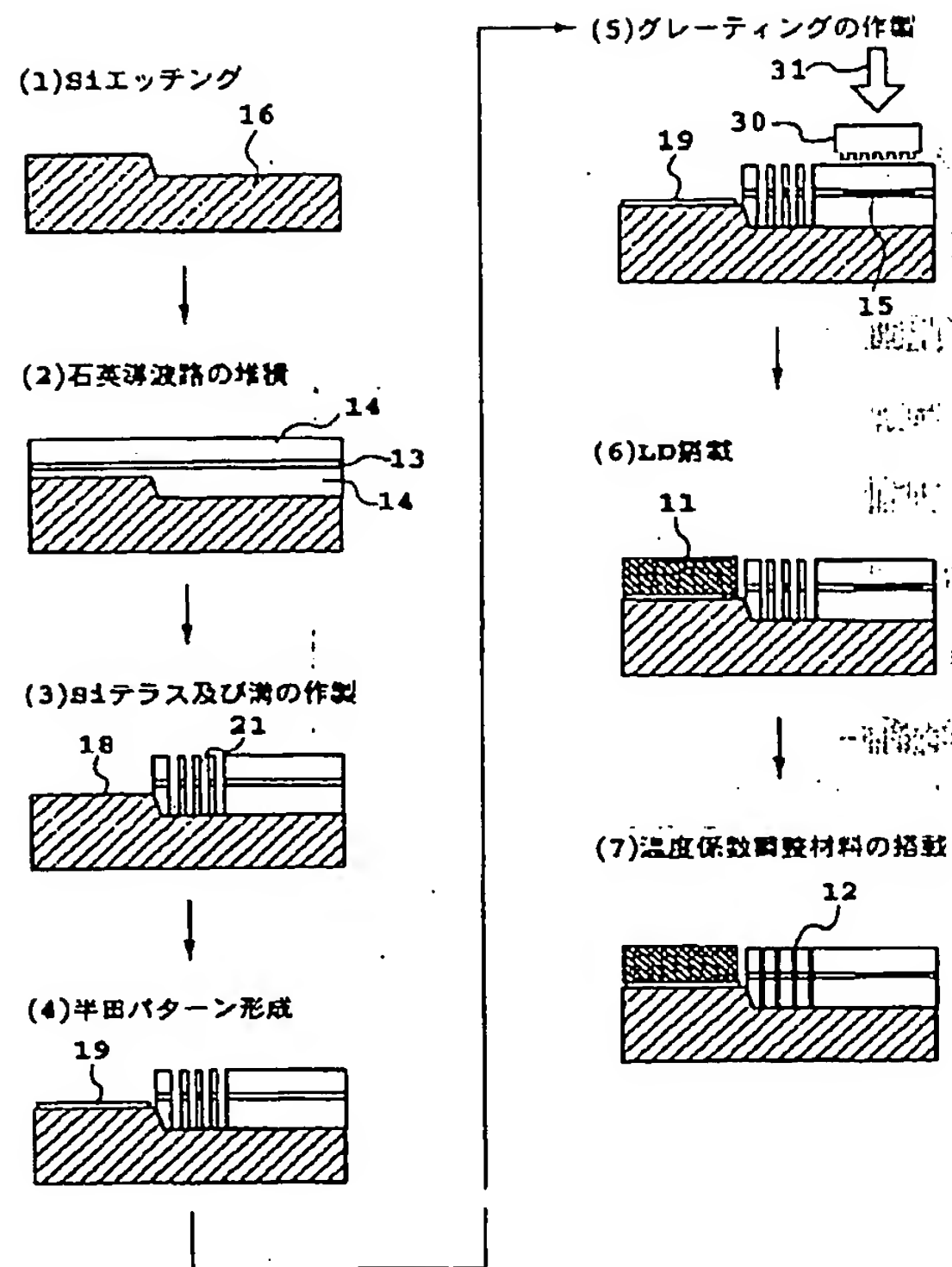
【図 8】



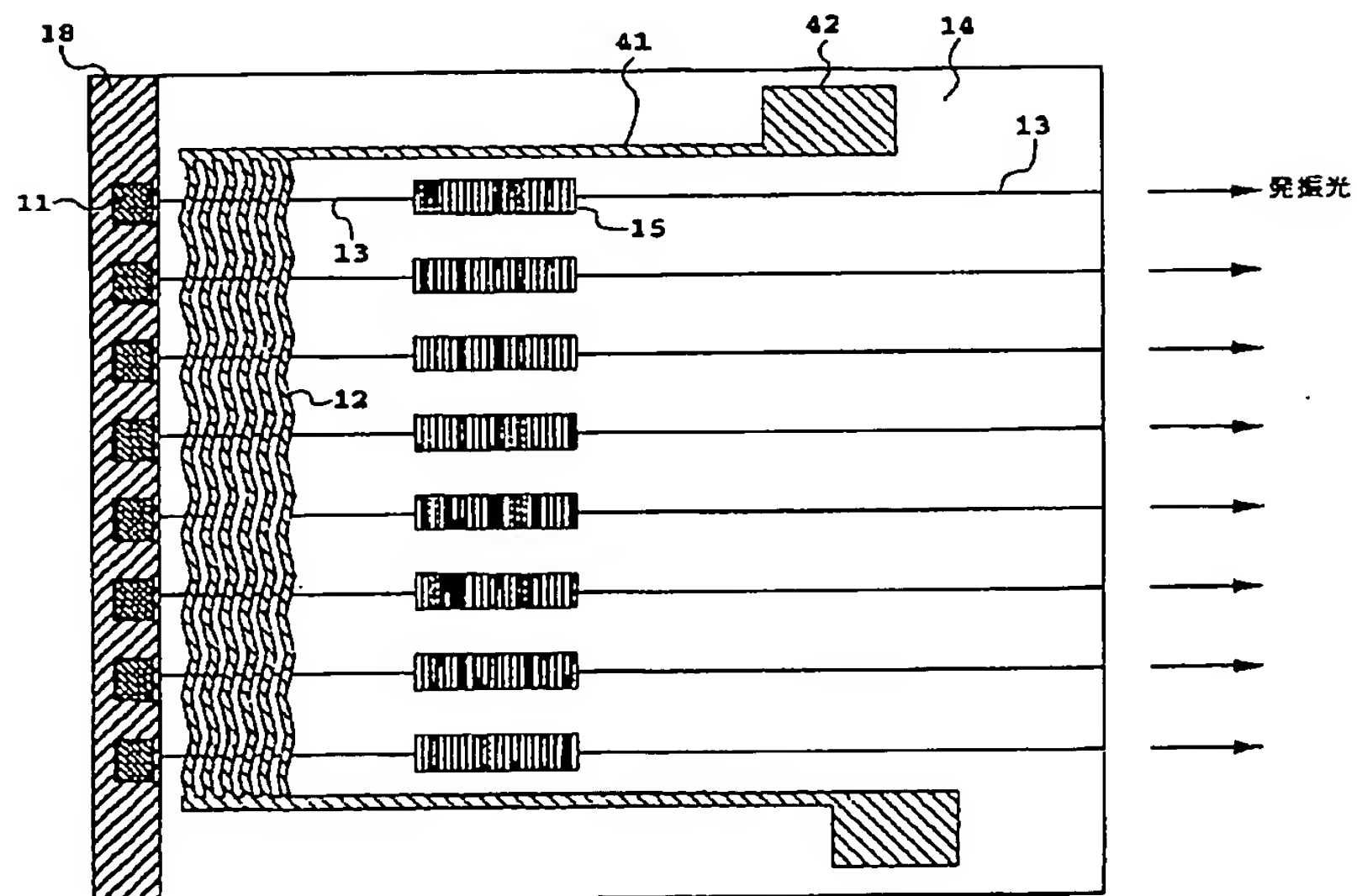
【図 9】



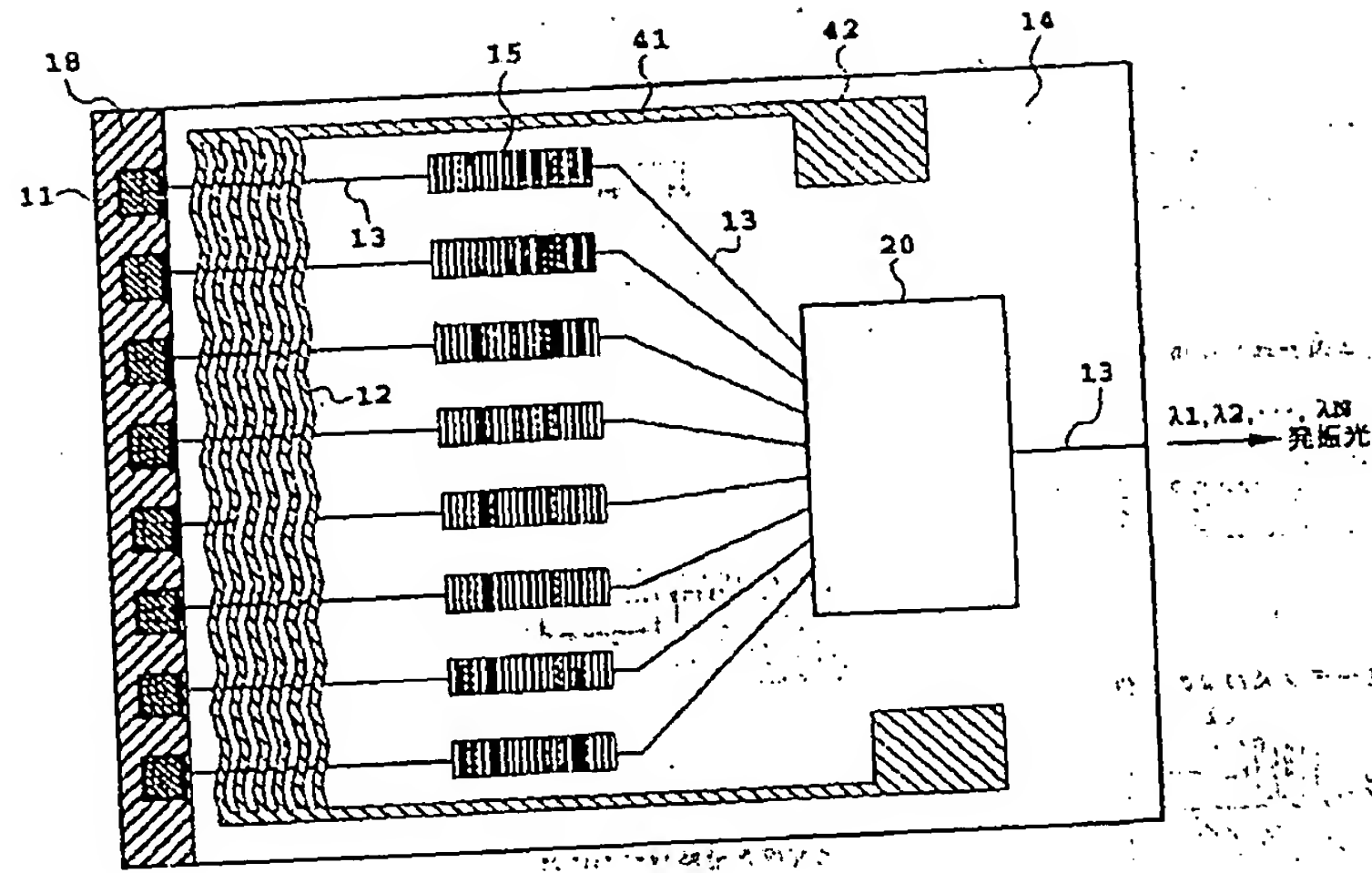
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

(72) 発明者 姫野 明
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内

(72) 発明者 井上 靖之
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本
電信電話株式会社内